

КРИТЕРИАЛЬНОЕ ОБОБЩЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ФИЛЬТРАТА ПОЛИГОНОВ ТБО

Гонопольский А.М., Мурашов В.Е., Кушнир К.Я.

Московский государственный университет инженерной экологии

Процессы и аппараты в инженерной экологии, как правило, отличаются гетерогенностью и гетерофазностью рабочих сред, многообразием протекающих в них параллельно-последовательных обратимых химических реакций и неконтролируемой степенью неидеальности, как термо-, так и гидродинамических процессов. По этой причине, было предложено дополнить методы теории подобия методами регрессионного анализа, для сложных многостадийных процессов, что позволяет изучать критериальные соотношения для процессов и аппаратов инженерной экологии, не имея физико-математической модели. В данной работе предлагается использование предложенной методике для описания многостадийного процесса физико-химической очистки фильтрата полигонов ТБО.

В работе впервые теория подобия и размерностей применена для изучения многостадийного последовательного процесса. Обычно методы теории подобия и размерностей применялись для отдельного этапа или процесса [1,2]. В данной работе каждое полученное критериальное соотношение для отдельного аппарата и процесса стоит в цепи последовательно протекающих процессов. Технологическая схема последовательно протекающих процессов представлена на рис.1., сам процесс и эффективность по стадиям очистки достаточно полно и подробно изложены в работах [2,3] и в данной статье не приводится.

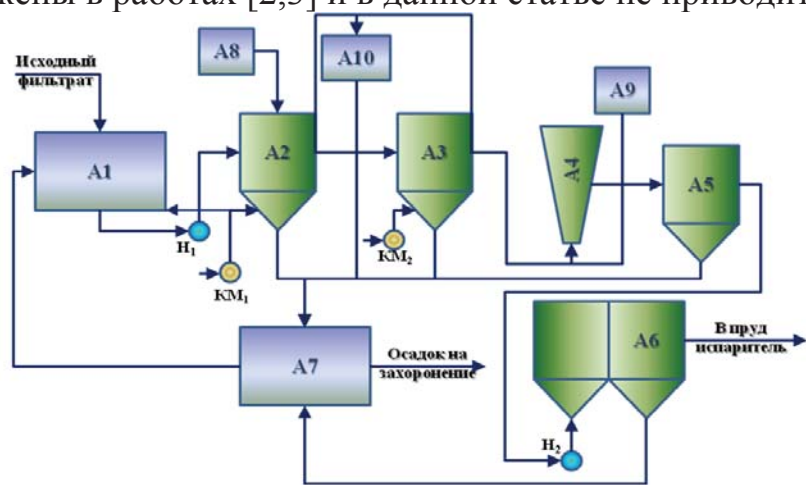


Рис. 1. Технологическая схема последовательно протекающих процессов.
A1 – Усреднитель; A2 – Реактор-барботер; A3 – Флотокоагулятор;
A4 – Проточный смеситель; A5 – Тонкослойный отстойник;
A6 – Электро-флотокоагулятор; A7 – Осадконакопитель;
A8,9 – Баки с реагентами; KM_{1,2} – Компрессоры; H_{1,2} – Насосы.

Результатами обработки массивов экспериментальных данных, полученных на лабораторной установке, являются критериальные соотношения (1-4) по стадиям обработки фильтрата полигона ТБО.

Стадия барботаж и микрофлотации. Общий вид функциональной зависимости для процесса барботажа и микрофлотации был определен из условия необходимых энергетических затрат на проведение процессов, а именно по величине перепада давления, который необходимо создать (1,2).

$$Eu = 20 \cdot Re^{0.12} \cdot Fr^{0.11} \cdot Ho^{0.01} \quad (1)$$

$$Eu = 5.7 \cdot Re^{0.52} \cdot Fr^{1.4} \cdot Ho^{0.03} \quad (2)$$

Пределы применимости критериев:

- число Рейнольдса $2.04 \cdot 10^3 \leq Re \leq 6.87 \cdot 10^6$

- число Фруда $8.43 \leq Fr \leq 10.595$

- число Гомохронности $1.852 \leq Ho \leq 5824$

Из критериальных соотношений (1) и (2) видно, что по своей природе процессы подобны, но эффекты, протекающие в аппарате, оказывают различное влияние на течение процесса. Об этом свидетельствуют в первую очередь степени при критериях. Чем выше степень при критерии, тем большее влияние оказывают на процесс эффекты, заключенные в нем. Так в критериальном соотношении (2) отношение сил инерции в потоке к силам вязкого трения (Re) в процессе микрофлотации имеет преобладающее действие на процесс, нежели в процессе барботажа. Так же неравномерность распределения сил инерции по диаметру аппарата в поле действия гравитационных сил в итоге более значимо для процесса микрофлотации (Fr).

Стадия травильными растворами. Общий вид функциональной зависимости определялся из условия необходимых энергетических затрат на проведение процесса коагуляции, а именно по величине частоты вращения перемешивающего устройства (3).

$$Fr = 0.04 Re_{\rho}^{1.7} \cdot Ho^{0.1} \quad (3)$$

Пределы применимости критериев:

- число Рейнольдса $2000 \leq Re \leq 36000$

- число Фруда $0,05 \leq Fr \leq 0,1$

- число Гомохронности $14 \leq Ho \leq 19000$

В данном критериальном соотношении отношение сил инерции к силам вязкого трения в потоке является наиболее значимым для процесса о чем так же свидетельствует показатель степени при критерии (Re). В отличие от остальных процессов в данном процессе критерий (Fr) является определяемым и содержит частоту вращения перемешивающего устройства, необходимого для перемешивания поступающего травильного раствора в аппарат.

Стадия электро-флотокоагуляции. Общий вид функциональной зависимости определялся из условия необходимых энергетических затрат на проведение процесса электрокоагуляции, а именно по величине силы тока (4)

$$N_J = 2.4 \cdot Fr^{0.71} \cdot Re_\rho^{1.4} \cdot Ho^{1.3} \quad (4)$$

где $N_J = \frac{J \cdot U \cdot \tau^3}{\rho \cdot D}$ - коэффициент мощности, характеризующий мощность, потребляемую электролизером; J – сила тока, А; U – напряжение, В; D – диаметр аппарата, м; τ – время процесса, с; ρ – плотность, кг/м³.

- число Рейнольдса $20 \leq Re \leq 50$;
- число Фруда $2000 \leq Fr \leq 10000$;
- число Гомохронности $2 \leq Ho \leq 50$.

Для процесса электро-флотокоагуляции имеет значение не только отношение сил инерции в потоке к силам вязкого трения, но и неустановившийся характер течения процесса (Ho) и распределения по объему, в котором протекает процесс, сил инерции под действием гравитационных сил. В критерий Фруда (Fr) в качестве характеристического размера принято расстояние между электродами. Стоит отметить так же, что определяющие критерии Re и Ho оказывают практически одинаковое влияние на течение процесса, о чем свидетельствуют степени при них.

Но для определения области рационального и устойчивого применения режимов для каждой стадии очистки фильтрата необходимо определить эффективность каждого процесса. Для этого по тому же алгоритму были обработаны уравнения, где в качестве определяемого критерия подстановкой в уравнения (1-4) равенству левой части уравнений соответствовала эффективность процесса очистки для каждой стадии (5-8).

$$Ef = 0,89 \cdot Fr^{0.44} \cdot Ho^{-0.179} \quad (5)$$

$$Ef = 2,23 \cdot Re^{-0,06} \cdot Fr^{-0,30} \quad (6)$$

$$Ef = 1,5 \cdot Re^{-0,33} \cdot Ho^{-0,06} \quad (7)$$

$$Ef = 0,22 \cdot Re^{0,17} \cdot Ho^{-0,13} \quad (8)$$

В результате каждому критериальному соотношению (5-8) в соответствие получена графическая зависимость, представляющая собой поверхность оптимальных решений в зависимости от эффекта, который необходимо получить при проведении процесса (Рис. 2,3).

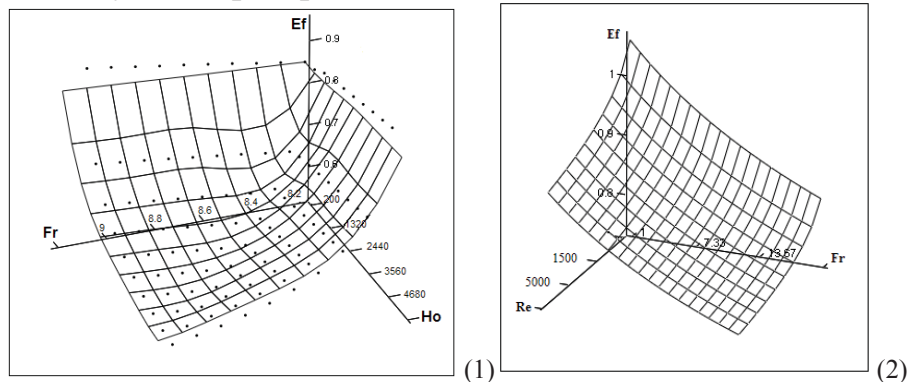


Рис. 2. Поверхность применения рациональных параметров для процесса барботаж и микрофлотации

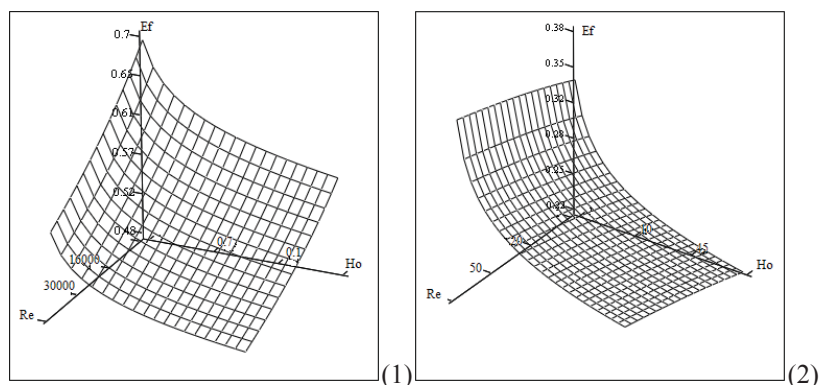


Рис. 3. Поверхность применения рациональных параметров для процесса коагуляции травильными растворами (1) и электро-флоккоагуляции (2)

Как видно из критериальных соотношений (5-8) и рис.2,3. на эффективность процесса барботажа в отличие от остальных процессов не оказывает влияние отношение сил инерции к силам трения (Re), но отношение сил инерции к гравитационным силам потоков, а также характер неустановившегося течения процесса для всех исследуемых процессов является значимым.

Выводы

Впервые была применена методика позволяющая получить критериальные соотношения для многостадийного.

Проведен анализ значимости физико-химических факторов, которые входят в состав критериальных соотношений.

Получены поверхности эффективных решений, позволяющие определять область рациональных применений на основании зависимостей между исходными параметрами и конечной эффективностью процесс.

1. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. М.: Высшая школа, 1963г.
2. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена. М.: Высшая школа, 1967г.
3. Гонопольский А. М., Мурашов В.Е., Кушнир К.Я. Теория подобия в прикладной инженерной экологии // Экология и промышленность России. 2007. №10 с. 22-25
4. Гонопольский А.М. и др. Многостадийная технология очистки фильтрата полигонов ТБО //Вода: Химия и экология. 2008. №2 с 25-30
5. Гонопольский А.М. и др. Без тяжелых металлов и других токсикантов. Технология очистки фильтрата полигонов ТБО физико-химическими методами //Вода: Химия и экология. 2007 №2 с. 36-38